

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



554160

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
11. November 2004 (11.11.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/097199 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: F02D 41/00,
F02B 1/12

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/002670

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. März 2004 (15.03.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
103 19 330.8 29. April 2003 (29.04.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BAUER, Erwin
[DE/DE]; Salzgasse 1 A, 93059 Regensburg (DE).
ELLMER, Dietmar [DE/DE]; Böhmerwaldstr.11, 93057
Regensburg (DE). LAUER, Thorsten [DE/DE]; Donau-
tauerstr. 206B, 93059 Regensburg (DE).

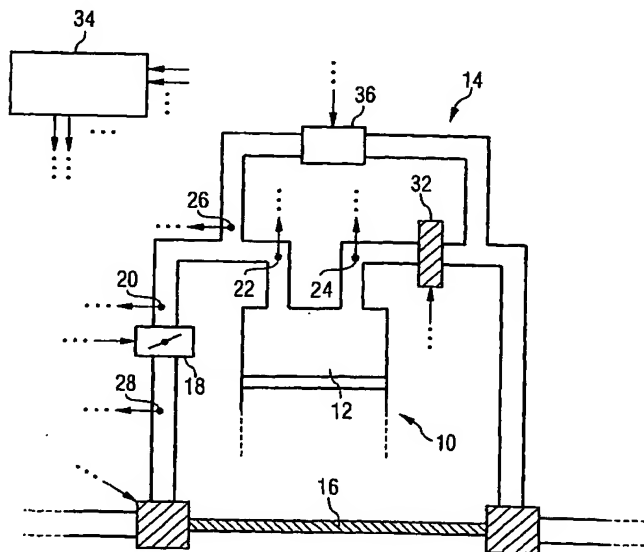
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR INFLUENCING THE INDUCTION GAS TEMPERATURE IN THE COMBUSTION
CHAMBER OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: SYSTEM UND VERFAHREN ZUM BEEINFLUSSEN DER ANSAUGGASTEMPERATUR IM BRENN-
RAUM EINES VERBRENNUNGSMOTORS



(57) Abstract: The invention relates to a system and method for use in a homogeneous charge compression ignition (HCCI) com-
bustion engine that is preferably equipped with an exhaust gas recirculation device (14). This system and method enable an improved
adjustment of the temperature level inside the combustion chamber. In addition to adjusting the temperature by using the exhaust
gas recirculation device (14), an influencing of the temperature, which is independent thereof, ensues based on the compression of
the induced fresh air by the exhaust gas turbocharger (16). An increase in temperature is maintained even after the compressed air is
expanded on a throttle valve (18), and this increase in temperature can, in the end, be used for influencing the energy content inside
the combustion chamber (12).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/097199 A1



PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT,

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Bei einem HCCI-fähigen Verbrennungsmotor, der vorzugsweise mit einer Abgasrückführeinrichtung (14) ausgestattet ist, werden ein System und ein Verfahren vorgeschlagen, auf deren Grundlage eine verbesserte Einstellung des Temperaturumniveaus im Brennraum erfolgen kann. Neben der Temperatureinstellung über die Abgasrückführeinrichtung (14) erfolgt eine davon unabhängige Beeinflussung der Temperatur aufgrund der Verdichtung der angesaugten Frischluft durch den Abgasturbolader (16), wobei auch nach Expansion der verdichteten Luft an einer Drosselklappe (18) eine Temperaturerhöhung erhalten bleibt, die letztlich gezielt zur Beeinflussung des Energieinhalts im Brennraum (12) genutzt werden kann.

Beschreibung

System und Verfahren zum Beeinflussen der Ansauggastemperatur im Brennraum eines Verbrennungsmotors

5

Die Erfindung betrifft ein System zum Beeinflussen der Ansauggastemperatur und damit des Energieniveaus im Brennraum eines Verbrennungsmotors, insbesondere eines HCCI-fähigen Verbrennungsmotors, mit einer Verdichtungseinrichtung zum
10 Verdichten von angesaugter Frischluft, die vor der Verdichtung eine Temperatur T_1 aufweist, sowie Expansionsmitteln, die eine Expansion der verdichteten angesaugten Frischluft bewirken, wobei die verdichtete und nachfolgend expandierte Frischluft eine Temperatur $T_2 > T_1$ aufweist.

15

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Beeinflussen der Ansauggastemperatur und damit des Energieniveaus im Brennraum eines Verbrennungsmotors, insbesondere eines HCCI-fähigen Verbrennungsmotors, bei dem angesaugte Frischluft,
20 die vor der Verdichtung eine Temperatur T_1 aufweist, verdichtet wird, und die verdichtete angesaugte Frischluft expandiert wird, wobei die verdichtete und nachfolgend expandierte Frischluft eine Temperatur $T_2 > T_1$ aufweist.

25 Im Zusammenhang mit Benzin-Direkteinspritzsystemen sind unterschiedliche Betriebsbedingungen bekannt. Diesen ist gemeinsam, dass eine Direkteinspritzung von Kraftstoff unter Hochdruck direkt in einen Brennraum erfolgt. Die Gemischbildung erfolgt dann innerhalb des Brennraums. Herkömmlich unterscheidet man die Betriebsarten Homogenbetrieb und Schicht-
30 beziehungsweise Magerbetrieb. Beim Homogenbetrieb liegt ein homogen über den gesamten Brennraum verteiltes Gemisch vor. Beim Schicht- beziehungsweise Magerbetrieb liegt nur im Bereich der Zündkerze ein Gemisch mit einer Luftzahl $\lambda \leq 1$ vor.
35 Das verbleibende Volumen des Brennraums ist mit angesaugter Frischluft, einem Inertgas aus der Abgasrückführung oder ei-

nem sehr mageren Luft-Kraftstoff-Gemisch gefüllt, so dass sich insgesamt eine Luftzahl von $\lambda > 1$ ergibt.

5 Neben diesen herkömmlichen Betriebsarten wird vermehrt eine weitere Betriebsart als erfolgversprechend eingeschätzt, die dem Betrieb des selbstzündenden Dieselmotors ähnelt. Diese ist als HCCI-Betriebsart (Homogeneous Charge Compression Ignition) bekannt und stellt ein selbstzündendes Brennverfahren dar, bei dem der Zündzeitpunkt und damit der Verbrennungsverlauf über die reaktive Energiemenge im Zylinder gesteuert wird. Um ein ausreichendes Energieniveau bereitzustellen, bedient man sich üblicherweise einer Abgasrückführung über externe Stellmittel im Rahmen einer externen Abgasrückführung oder durch eine geeignete Gaswechselventilsteuerung im Rahmen einer internen Abgasrückführung.

Bei der Einstellung des Temperaturniveaus und damit des Energieniveaus im Brennraum über die Abgasrückführrate ist jedoch zu berücksichtigen, dass dies nur innerhalb bestimmter Grenzen erfolgen kann. Da die Abgasrückführrate nicht nur das Temperaturniveau im Brennraum sondern auch das Mischungsverhältnis von Luft, Kraftstoff und Abgas beeinflusst, ist es unter Umständen nicht möglich, die Abgasrückführrate sowohl im Hinblick auf die Temperatur im Brennraum als auch im Hinblick auf das genannte Mischungsverhältnis optimal zu wählen. Somit können Kompromisse bei der Einstellung der Abgasrückführrate erforderlich werden, um einen zuverlässigen Betrieb des Verbrennungsmotors sicherzustellen.

30 Im Zusammenhang mit herkömmlich gezündeten Verbrennungsmotoren wurde bereits vorgeschlagen, eine gekühlte Abgasrückführung zu verwenden, wobei diese Kühlung des Abgases insbesondere auf eine Reduzierung der Stickoxidemissionen abzielte. Hierzu wird beispielsweise auf MTZ Motortechnische Zeitschrift 60 (1999) 7/8, Seite 470 ff. verwiesen: "Einhaltung zukünftiger Emissionsvorschriften durch gekühlte Abgasrückführung" von Karl-Heinrich Lösing und Rainer Lutz.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen und insbesondere ein System und ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, durch die die
5 Einstellung der Temperatur im Brennraum des Verbrennungsmotors zumindest teilweise von der Einstellung des optimalen Mischungsverhältnisses von Luft, Kraftstoff und Abgas entkoppelt werden kann.

10 Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

15

Die Erfindung baut auf dem gattungsgemäßen System dadurch auf, dass die Temperaturerhöhung der Frischluft von T_1 auf T_2 zur Beeinflussung des Temperaturniveaus und damit des Energieniveaus im Brennraum gezielt eingesetzt wird. Auf diese
20 Weise kann das Energieniveau im Brennraum durch Temperaturerhöhung beziehungsweise Temperaturregelung der Frischgastemperatur sehr fein variiert und eingestellt werden. Somit kann der Verbrennungsprozess im HCCI-Modus genau kontrolliert werden. Das Temperaturniveau im Brennraum kann dabei über den
25 Verdichtungsgrad und die anschließende Expansion beeinflusst werden.

Das erfindungsgemäße System ist in besonders nützlicher Weise dadurch weitergebildet, dass eine Abgasrückführeinrichtung
30 zum Zuführen von Abgas eines früheren Verbrennungszyklus zu Frischluft beziehungsweise zu einem Frischluft aufweisenden Gemisch vorgesehen ist, um nach Einspritzung von Kraftstoff ein Luft/Kraftstoff/Abgas-Gemisch mit einem für die Verbrennung vorteilhaften Energieniveau bereitzustellen. Neben der
35 Beeinflussung des Temperaturniveaus durch Verdichtung und Expansion kann somit zusätzlich die Abgasrückführung und dabei

insbesondere die Abgasrückführrate gezielt zur Einstellung des Energieniveaus im Brennraum eingesetzt werden.

Das erfindungsgemäße System ist insbesondere dann nützlich einsetzbar, wenn die Verdichtungseinrichtung ein Abgasturbo-
5 lader ist. Dabei handelt es sich um eine häufig verwendete Vorrichtung zur Erhöhung der Gasdichte im Ansaugsystem, so dass im Brennraum eine erhöhte Luftmenge bereitgestellt werden kann, was zu einer Leistungserhöhung des Verbrennungsmo-
10 tors führt. Angetrieben wird die Verdichtungseinrichtung durch eine im Abgasstrom liegende Turbine.

Ebenso ist das System nützlich einsetzbar, wenn die Verdich-
15 tungseinrichtung ein Kompressor ist. Dieser dient ebenfalls zur Verdichtung des Gasdrucks im Ansaugsystem, wobei die Antriebsenergie mechanisch vom Verbrennungsmotor zur Verfügung gestellt wird. Alternativ hierzu kann der Kompressor auch mittels elektrischer Energie angetrieben werden.

20 Nützlicherweise ist vorgesehen, dass die Expansion an einer Drosselklappe erfolgt. Bei Direkteinspritzsystemen dient die Drosselklappe dem dosierten Zuführen von Frischluft, wobei durch die Drosselwirkung eine Verringerung des Druckes erfolgt. Letztlich weist die im Abgasturbolader oder im Kom-
25 pressor verdichtete und an der Drosselklappe expandierte Luft gemäß thermodynamischer Grundregeln eine höhere Temperatur auf als die ursprünglich angesaugte Frischluft.

Die Erfindung ist in besonders vorteilhafter Weise dadurch
30 weitergebildet, dass ein Temperatursensor zum Erfassen der Temperatur T_2 in Strömungsrichtung des Frischgases stromab den Expansionsmitteln angeordnet ist, so dass diese im Rahmen einer Regelung der Ansauggastemperatur berücksichtigt werden kann. Die Temperatur der Frischluft stromab der Drosselklappe
35 ist somit eine wichtige Eingangsgröße, um letztlich das Energieniveau im Brennraum für die HCCI-Betriebsart vorteilhaft festzulegen.

Im Zusammenhang mit einem mit Abgasrückführung ausgestatteten System erweist es sich als besonders nützlich, dass mindestens ein als Abgaskühler wirkender Wärmetauscher zur Absenkung der Temperatur des zurückgeführten Abgases vorgesehen ist und dass ein Kühlmittelstellventil vorgesehen ist, so dass durch Beeinflussung des Kühlmitteldurchflusses durch den Abgaskühler unter Berücksichtigung von Messwerten beziehungsweise modelltechnisch ermittelten Werten die Ansauggastemperatur eingestellt beziehungsweise geregelt werden kann. Die zurückgeführte Abgasmenge ist daher nicht mehr zwingend an die mit der Abgasrückführung erreichte Temperaturerhöhung im Brennraum gekoppelt. Vielmehr lässt sich über die einstellbare Abgaskühlung der Energieinhalt im Brennraum in gewissen Grenzen unabhängig von der Abgasrückführrate einstellen. Somit können sowohl das Mischungsverhältnis und das Energieniveau im Brennraum optimal eingestellt werden.

Das erfindungsgemäße System ist in vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet, dass der Abgaskühler in einem separaten Wärmetauscherkreis angeordnet ist. Der Abgaskühler kann somit autark ohne Beeinflussung durch andere Komponenten des Kraftfahrzeugs arbeiten. Ebenso findet keine Beeinflussung anderer Komponenten des Kühlsystems des Fahrzeugs durch den Abgaskühler statt. Der autarke Kühlkreislauf umfasst dann einen separaten Kühler und eine separate Kühlmittelpumpe.

Es kann aber auch nützlich sein, dass der Abgaskühler in einem Motorkühlmittelkreis angeordnet ist. Auf diese Weise können Komponenten des Motorkühlmittelkreises für die Abgaskühlung genutzt werden, so dass insgesamt ein effizientes System realisiert wird.

Ebenso kann vorgesehen sein, dass der Abgaskühler als Motorbeziehungsweise Getriebeölwärmetauscher ausgelegt ist. Auch hierdurch können bestehende Komponenten des Fahrzeugs mitgenutzt werden.

Die Erfindung ist in besonders vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet, dass die Messwerte beziehungsweise die modelltechnisch ermittelten Werte mindestens einer der folgenden Größen zugeordnet sind:

- Abgastemperatur,
- zurückgeführte Abgasmasse beziehungsweise -menge,
- Frischgastemperatur,
- 10 - Frischgasmasse beziehungsweise -menge,
- Ansauggastemperatur,
- Ansauggasmasse beziehungsweise -menge,
- Kühlmitteltemperatur beziehungsweise Öltemperatur des durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungsweise Öls und
- 15 - Kühlmittelmasse beziehungsweise Ölmasse beziehungsweise Kühlmittelmenge beziehungsweise Ölmenge des durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungsweise Öls.

20 Wenn nachfolgend der Begriff "Menge" verwendet wird, kann auch eine "Masse" gemeint sein und umgekehrt. Die aktuelle Abgastemperatur und die zurückgeführte Abgasmenge sind in modernen Motorsteuerungen als Motorbetriebsgrößen bekannt. Sie können entweder modelltechnisch errechnet oder über entsprechende Sensoren direkt gemessen werden. Ebenso verhält es sich mit der Frischgasmenge und der Frischgastemperatur. Die 25 Kühlmitteltemperaturen und die Öltemperaturen sind ebenfalls bekannt. Ist ferner die Kühlmittelmenge beziehungsweise die Ölmenge bekannt, die durch den Abgaswärmetauscher strömt, können in Kenntnis der Wärmetauschercharakteristik die Abgastemperatur am Wärmetauscheraustritt und damit die Mischtemperatur der Ansaugluft bestimmt werden. 30

Als besonders nützlich hat es sich erwiesen, dass ein Temperatursensor zum Erfassen der Frischgastemperatur, ein Temperatursensor zum Erfassen der Abgastemperatur am Motoraus- 35 tritt, eine Luftmassen- beziehungsweise -mengenmesse-

richtung zum Erfassen der Frischgasmasse beziehungsweise -
menge und eine Abgasmassen- beziehungsweise -mengenmessein-
richtung zum Erfassen der Abgasmasse beziehungsweise -menge
vorgesehen sind. Aus diesen Größen lassen sich in Kenntnis
5 bestimmter Modelle beziehungsweise bestimmter Charakteristi-
ken die wesentlichen Größen für eine zuverlässige Regelung
der Ansauggastemperatur bestimmen.

So ist das System in nützlicher Weise dadurch weitergebildet,
10 dass die Ansauggastemperatur gemäß der Gleichung

$$T_{ASG} = \frac{\dot{m}_{FG} C_{p,FG} + \dot{m}_{AG} C_{p,AG}}{\dot{m}_{FG} + \dot{m}_{AG}}$$

berechnet wird, wobei

15

\dot{m}_{FG} : Frischgasmassenstrom

\dot{m}_{AG} : Abgasmassenstrom

T_{FG} : Frischgastemperatur

T_{AG} : Abgastemperatur

20 T_{ASG} : Ansauggastemperatur

$C_{p,FG}$: Wärmekapazität des Frischgases

$C_{p,AG}$: Wärmekapazität des Abgases.

Die Ansauggastemperatur kann somit in Kenntnis von gemesse-
25 nen, bekannten beziehungsweise ebenfalls bereits modelltech-
nisch berechneten Größen ermittelt werden.

In diesem Zusammenhang ist es nützlich, dass die Abgastempe-
ratur am Wärmetauscherausgang unter Verwendung des folgenden
30 Gleichungssystems berechnet wird:

$$|\Delta \dot{Q}_{KM}| = |\Delta \dot{Q}_{AG}| = \dot{Q}_{NT}$$

35

$$\Delta \dot{Q}_{KM} = \dot{m}_{KM} C_{p,KM} (T_{KM,AUS} - T_{KM,EIN})$$

$$\Delta \dot{Q}_{AG} = \dot{m}_{AG} C_{p,AG} (T_{AG,EIN} - T_{AG,AUS})$$

$$\dot{Q}_{WT} = kA\Delta T_m$$

wobei

- 5 \dot{Q} : Wärmestrom
 KM : Kühlmittel
 AG : Abgas
 WT : Wärmetauscher
 c_p : Wärmekapazität
10 k : Wärmedurchgangskoeffizient des Wärmetauschers
 A : Heizfläche des Wärmetauschers
 ΔT_m : mittlere logarithmische Temperaturdifferenz.

15 Aus der Kenntnis der Charakteristik des Wärmetauschers, das heißt insbesondere in Kenntnis der Parameter k und A lässt sich unter Berücksichtigung der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz ΔT_m also der im Wärmetauscher vorliegenden Wärmestrom \dot{Q}_{WT} errechnen. Hieraus ergibt sich in Kenntnis von Massenströmen, Wärmekapazitäten und weiteren Temperaturen
20 die Abgastemperatur am Wärmetauscherausgang $T_{AG,AUS}$.

Die Erfindung baut auf dem gattungsgemäßen Verfahren dadurch auf, dass die Temperaturerhöhung der Frischluft von T_1 auf T_2 zur Beeinflussung des Temperaturniveaus und damit des Energieniveaus im Brennraum gezielt eingesetzt wird. Auf diese
25 Weise werden die Vorteile und Besonderheiten des erfindungsgemäßen Systems auch im Rahmen eines Verfahrens umgesetzt. Dies gilt auch für die nachfolgend angegebenen besonders bevorzugten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

30 Das Verfahren ist in besonders vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet, dass Abgas eines früheren Verbrennungszyklus Frischluft beziehungsweise einem Frischluft aufweisenden Gemisch zugeführt wird, um nach Einspritzung von Kraftstoff ein
35 Luft/Kraftstoff/Abgas-Gemisch mit einem für die Verbrennung vorteilhaften Energieniveau bereitzustellen.

Das Verfahren zeichnet sich besonders dann als vorteilhaft aus, wenn die Verdichtung durch einen Abgasturbolader erfolgt.

- 5 Gleichermaßen ist das Verfahren dann nützlich, wenn die Verdichtung durch einen Kompressor erfolgt.

Nützlicherweise ist weiterhin vorgesehen, dass die Expansion an einer Drosselklappe erfolgt.

10

Das Verfahren ist in besonders vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet, dass die Temperatur T_2 nach der Expansion erfasst wird, so dass diese im Rahmen einer Regelung der Ansauggastemperatur berücksichtigt werden kann.

15

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass Abgas in einem als Abgaskühler wirkenden Wärmetauscher zur Absenkung der Temperatur des zurückgeführten Abgases gekühlt wird und dass
20 durch Beeinflussung des Kühlmitteldurchflusses durch den Abgaskühler mittels eines Kühlmittelstellventils unter Berücksichtigung von Messwerten beziehungsweise modelltechnisch ermittelten Werten die Ansauggastemperatur eingestellt beziehungsweise geregelt wird.

25

Es ist besonders bevorzugt, dass die Messwerte beziehungsweise die modelltechnisch ermittelten Werte mindestens einer der folgenden Größen zugeordnet sind:

- 30 - Abgastemperatur,
- zurückgeführte Abgasmasse beziehungsweise -menge,
- Frischgastemperatur,
- Frischgasmasse beziehungsweise -menge,
- Ansauggastemperatur,
35 - Ansauggasmasse beziehungsweise -menge,

- Kühlmitteltemperatur beziehungsweise Öltemperatur des durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungsweise Öls und
- Kühlmittelmasse beziehungsweise Ölmasse beziehungsweise Kühlmittelmenge beziehungsweise Ölmenge des durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungsweise Öls.

Als besonders nützlich hat es sich erwiesen, dass die Frischgastemperatur, die Abgastemperatur am Motorausstritt, die Frischgasmasse beziehungsweise -menge und die Abgasmasse beziehungsweise -menge gemessen werden.

Das Verfahren ist in nützlicher Weise dadurch weitergebildet, dass die Ansauggastemperatur gemäß der Gleichung

$$T_{ASG} = \frac{\dot{m}_{FG} C_{p,FG} + \dot{m}_{AG} C_{p,AG}}{\dot{m}_{FG} + \dot{m}_{AG}}$$

berechnet wird, wobei

- \dot{m}_{FG} : Frischgasmassenstrom
- \dot{m}_{AG} : Abgasmassenstrom
- T_{FG} : Frischgastemperatur
- T_{AG} : Abgastemperatur
- T_{ASG} : Ansauggastemperatur
- $c_{p,FG}$: Wärmekapazität des Frischgases
- $c_{p,AG}$: Wärmekapazität des Abgases.

In diesem Zusammenhang ist es nützlich, dass die Abgastemperatur am Wärmtauscherausgang unter Verwendung des folgenden Gleichungssystems berechnet wird:

$$|\Delta \dot{Q}_{KM}| = |\Delta \dot{Q}_{AG}| = \dot{Q}_{NT}$$

$$\Delta \dot{Q}_{KM} = \dot{m}_{KM} c_{p,KM} (T_{KM,AUS} - T_{KM,EIN})$$

$$\Delta \dot{Q}_{AG} = \dot{m}_{AG} c_{p,AG} (T_{AG,EIN} - T_{AG,AUS})$$

$$\dot{Q}_{WT} = kA\Delta T_m$$

wobei

- 5 \dot{Q} : Wärmestrom
 KM : Kühlmittel
 AG : Abgas
 WT : Wärmetauscher
 c_p : Wärmekapazität
10 k : Wärmedurchgangskoeffizient des Wärmetauschers
 A : Heizfläche des Wärmetauschers
 ΔT_m : mittlere logarithmische Temperaturdifferenz.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass durch die
15 gezielte Beeinflussung beziehungsweise die gezielte Berücksichtigung der Frischgastemperatur das Energieniveau im Brennraum des Verbrennungsmotors sehr fein variiert und genau kontrolliert werden kann. Neben dem Prinzip der Abgasrückführung steht somit ein weiteres unabhängiges Instrument zur Beeinflussung des Temperaturniveaus und damit zur Verbrennungs-
20 prozesskontrolle zur Verfügung. Die Erfindung bietet insbesondere den Vorteil, dass, ausgehend von Kaltstartbedingungen, unter denen ein HCCI-Betrieb aufgrund des zu niedrigen Temperaturniveaus nicht möglich ist, das Frischgas aufgeheizt und somit ein früheres Umschalten in den emissionsgünstigen HCCI-Modus möglich ist. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist es besonders nützlich, dass über die kontrollierte Einstellung der Abgastemperatur mittels Abgaskühlung neben der Abgasrückführrate und dem Prinzip von Verdichtung und Expansion eine weitere unabhängige Stellgröße zum
30 Beeinflussen des Temperaturniveaus und damit des Energieniveaus im Brennraum zur Verfügung steht und damit ein zusätzliches Mittel zur Verbrennungsprozesskontrolle. Die Einflussnahme auf den Prozess erfolgt hinsichtlich des Entzündungszeitpunktes des komprimierten Luft/Kraftstoff/Abgas-Gemisches und der sich daraus ergebenden Folgegrößen, wie Druckverlauf und Verbrennung, Spitzendruck, Verbrennungsschwerpunkt und
35

Verbrennungsgeschwindigkeit. Diese wiederum sind entscheidend verantwortlich für das gesamtmotorische Verhalten im Hinblick auf Wirkungsgrad, Emissionen, Laufunruhe und Akustik. Der Erfindung kommt die Tatsache entgegen, dass in modernen Motorsteuerungen alle relevanten Informationen und Betriebsgrößen, beispielsweise Temperaturen und Stoffmassen beziehungsweise Mengen, bereits vorliegen, die zur Kontrolle des HCCI-Verbrennungsprozesses mittels Abgastemperaturregelung nötig sind. Die Erfindung kann auch wirksam eingesetzt werden, um veränderten Umgebungs- oder Betriebsbedingungen verbrennungsmotorisch zu begegnen, wie es zum Beispiel beim Motorwarmlauf oder im Sommer-/Winterbetrieb bei stark unterschiedlichen Umgebungstemperaturen der Fall ist.

Die Erfindung wird nun mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsformen beispielhaft erläutert.

Es zeigen:

- Figur 1 ein Temperatur-Entropie-Diagramm zur Erläuterung thermodynamischer Grundlagen einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- Figur 2 eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Systems;
- Figur 3 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Systems; und
- Figur 4 ein Funktionsblockdiagramm zur Erläuterung der Ansauggastemperaturregelung im Rahmen eines erfindungsgemäßen Verfahrens.
- Figur 1 zeigt ein Temperatur-Entropie-Diagramm zur Erläuterung thermodynamischer Grundlagen einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dem Diagramm sind

die Temperatur-Entropie-Verläufe in einem Gas für zwei verschiedene Drücke p_1 und p_2 dargestellt. Wird ein Gas ausgehend vom Druck p_1 und der Temperatur T_1 auf den Druck p_2 verdichtet, so verläuft dieser Vorgang nicht entlang einer Isentropen (Vorgang 1-2s), sondern unter Entropiezunahme (Vorgang 1-2). Findet nach der Verdichtung eine Expansion, das heißt eine Druckabnahme statt, so wird auch dieser Vorgang nicht entlang einer Isentropen erfolgen (Vorgang 2-3s), sondern ebenfalls unter Zunahme der Entropie (Vorgang 2-3). Die hier dargestellten Vorgänge einer Druckerhöhung von p_1 auf p_2 und der nachfolgenden Expansion auf das Ausgangsniveau p_1 stellen einen Sonderfall dar. Eine Expansion auf ein beliebiges anderes Druckniveau erfolgt ebenfalls unter Zunahme der Entropie. Letztlich hat das Gas nach Verdichtung von p_1 auf p_2 und Expansion von p_2 auf p_1 ein höheres Temperaturniveau als vor der Verdichtung; die Temperatur ist von T_1 auf T_3 gestiegen. Die gewünschte Temperaturänderung kann beim Verbrennungsmotor somit über den Verdichtungsgrad und die anschließende Expansion, beispielsweise an der Drosselklappe, eingestellt werden.

Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Systems. Es ist ein Verbrennungsmotor 10 mit Abgasrückführeinrichtung 14 und Abgasturbolader 16 dargestellt. In der Frischluftzufuhr des Verbrennungsmotors 10 ist eine Drosselklappe 18 angeordnet. Der Abgasstrang des Verbrennungsmotors 10 ist mit einem Abgaskühler 32 ausgestattet. Auf die besonderen Merkmale des Abgaskühlers 32 wird im Rahmen der vorliegenden Darstellung gemäß Figur 2 nicht eingegangen. In der Abgasrückführung 14 ist ein Abgasrückführventil 36 vorgesehen. Weiterhin umfasst das System an verschiedenen Stellen Messeinrichtungen beziehungsweise Sensoren 20, 22, 24, 26, 28, 30, deren Ausgangssignale einer Steuer-/Regel-/Recheneinheit 34 zugeführt werden können. Im Einzelnen sind vorgesehen: eine Luftmassenmesseinrichtung 28, ein Temperatursensor 20, der in Strömungsrichtung der Frischluft stromab der Drosselklappe 18 zur

Erfassung der Frischlufttemperatur angeordnet ist, ein Temperatursensor 22 zur Erfassung der Temperatur des Ansauggases vor Einströmen in den Brennraum 12 des Verbrennungsmotors 10, ein Abgastemperatursensor 24 sowie ein Temperatursensor 26 zur Erfassung der Temperatur am Luft/Abgas-Mischpunkt. Diese Sensoren müssen nicht zwingend vorhanden sein, um die vorliegende Erfindung zu realisieren. Beispielsweise kann der Temperatursensor 26 fortgelassen werden, wenn die Ansauggastemperatur gemäß den im Zusammenhang mit Figur 3 erläuterten Berechnungen ermittelt wird. Ausgangssignale dieser Messeinrichtungen und Sensoren 20, 22, 24, 26, 28 können der Steuer-/Regel-/Recheneinheit 34 zugeführt werden, die wiederum Komponenten des Systems ansteuern kann, wie zum Beispiel das Abgasrückführventil 36, den Abgaskühler 32, die Drosselklappe 18 und den Abgasturbolader 16. Diese Komponenten können somit in ihrer Funktion beeinflusst werden und letztlich zur Bereitstellung des gewünschten Energieniveaus im Brennraum 12 des Verbrennungsmotors 10 beitragen.

Das in Figur 2 dargestellte System arbeitet wie folgt. Frischluft wird angesaugt und vom Abgasturbolader 16, der vom Abgasstrom angetrieben wird, verdichtet. Diese verdichtete Luft muss die Drosselklappe 18 passieren, so dass es zu einer Expansion kommt. Aufgrund der im Zusammenhang mit Figur 1 dargestellten thermodynamischen Prinzipien hat die Luft hinter der Drosselklappe 18 eine höhere Temperatur als die ursprünglich angesaugte Frischluft. Die Luft gelangt in den Brennraum 12 des Verbrennungsmotors 10. Nach der Verbrennung wird Abgas ausgestoßen, das in einem Abgaskühler 32 gekühlt wird. Das gekühlte Abgas wird teilweise über den Abgasstrang emittiert. Teilweise wird das gekühlte Abgas 32 über die Abgasrückführung 14 und insbesondere das Abgasrückführventil 36 zur Eingangsseite des Verbrennungsmotors 10 zurückgeführt. Aufgrund der von den Messeinrichtungen und Sensoren 20, 22, 24, 26, 28 erfassten Signale kann die Steuer-/Regel-/Recheneinheit 34 das System so beeinflussen, dass letztlich ein für den HCCI-Betrieb geeignetes Energieniveau im Brennraum 12 des

Verbrennungsmotors 10 vorliegt. Ein wesentlicher Teil der Ansauggastemperaturregelung wird im Zusammenhang mit Figur 4 beschrieben.

- 5 Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Systems, wobei hier speziell auf die besonders bevorzugte Ausführungsform mit Abgaskühlung eingegangen wird. Es ist ein Verbrennungsmotor 10 mit einer äußeren Abgasrückföhreinrichtung 14 dargestellt. Die Abgasrückföhreinrichtung 14
10 umfasst ein Abgasrückföhrrventil 36, über das die Abgasrückföhrrate einstellbar ist. Die Abgasrückföhreinrichtung 14 umfasst weiterhin einen als Abgaskühler wirkenden Wärmetauscher 32. Der Abgaswärmetauscher 32 wird weiterhin über ein Kühlmittelsystem 46 von einem Kühlmittel durchströmt. Zur Kühlung
15 des Kühlmittels ist ein Kühler 48 vorgesehen. Im vorliegenden Beispiel ist der Abgaswärmetauscherkreis als Parallelkreis ausgelegt. Es sind jedoch auch zahlreiche andere Varianten zur Abgaskühlung denkbar, wobei insbesondere der Kühler 48 als separater Kühler ausgelegt sein kann; ebenfalls ist es
20 denkbar, den Kühler der Motorkühlung mitzubenutzen. Die Kühlung kann auch durch Motor- oder Getriebeöl erfolgen.

Das Kühlmittelsystem 46 umfasst weiterhin ein Kühlmittelstellventil 50, über das die Kühlmittelmenge, die durch den
25 Abgaskühler 32 strömt, einstellbar ist.

Das dargestellte System arbeitet wie folgt. Aus dem Verbrennungsmotor 10 austretendes Abgas wird teilweise über die Abgasrückföhreinrichtung 14 zur Einlassseite des Verbrennungsmotors 10 zurückgeführt. Dabei lässt sich der Abgasmassenstrom \dot{m}_{AG} mittels des Abgasrückföhrrventils 36 einstellen. Am
30 Eingang des Abgaskühlers 32 hat das Abgas eine Temperatur $T_{AG,EIN}$, und am Ausgang des Abgaskühlers 32 hat das Abgas eine Temperatur $T_{AG,AUS}$, die im Allgemeinen kleiner sein wird als die Temperatur am Eingang. Die Kühlwirkung des Abgaskühlers 32 kann dadurch eingestellt werden, dass über das Kühlmittelstellventil 50 der Kühlmittelmassenstrom \dot{m}_{KM} eingestellt
35

wird. Das Kühlmittel hat am Eingang des Abgaskühlers 32 die Temperatur $T_{KM,EIN}$ und am Ausgang des Abgaskühlers 32 die Temperatur $T_{KM,AUS}$, wobei letztere im Allgemeinen höher sein wird als die Temperatur am Eingang. Eine Abkühlung des Kühlmittels erfolgt dann im Kühler 48. Über die Beeinflussung des Kühlmitteldurchflusses durch den Abgaskühler 32 durch das Kühlmittelstellventil 50 kann somit unter Berücksichtigung von Messwerten beziehungsweise modelltechnisch ermittelten Werten die Ansauggastemperatur des in den Verbrennungsmotor 10 einströmenden Abgases eingestellt beziehungsweise geregelt werden.

Die Abgastemperatur $T_{AG,AUS}$ am Ausgang des Abgaskühlers 32 kann dabei beispielsweise unter Verwendung des folgenden Gleichungssystems berechnet werden:

$$|\Delta\dot{Q}_{KM}| = |\Delta\dot{Q}_{AG}| = \dot{Q}_{WT}$$

$$\Delta\dot{Q}_{KM} = \dot{m}_{KM} c_{p,KM} (T_{KM,AUS} - T_{KM,EIN})$$

$$\Delta\dot{Q}_{AG} = \dot{m}_{AG} c_{p,AG} (T_{AG,EIN} - T_{AG,AUS})$$

$$\dot{Q}_{WT} = kA\Delta T_m$$

wobei

\dot{Q} : Wärmestrom

KM : Kühlmittel

AG : Abgas

WT : Wärmetauscher

c_p : Wärmekapazität

k : Wärmedurchgangskoeffizient des Wärmetauschers

A : Heizfläche des Wärmetauschers

ΔT_m : mittlere logarithmische Temperaturdifferenz.

Die Temperatur des Ansauggases, nachfolgend als T_{ASG} bezeichnet, kann dann gemäß der folgenden Gleichung ermittelt werden:

$$T_{ASG} = \dot{m}_{FG} C_{p,FG} + \dot{m}_{AG} C_{p,AG}$$

berechnet wird, wobei

- \dot{m}_{FG} : Frischgasmassenstrom
- 10 \dot{m}_{AG} : Abgasmassenstrom
- T_{FG} : Frischgastemperatur
- T_{AG} : Abgastemperatur
- T_{ASG} : Ansauggastemperatur
- $C_{p,FG}$: Wärmekapazität des Frischgases
- 15 $C_{p,AG}$: Wärmekapazität des Abgases.

Figur 4 zeigt ein Funktionsblockdiagramm zur Erläuterung der Ansauggastemperaturregelung im Rahmen eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Die dargestellten Funktionseinheiten können Bestandteile der in Figur 1 dargestellten Steuer-/Regel-/Recheneinheit 34 sein. Es ist eine Einrichtung 38 zur Berechnung der Abgassolltemperatur vorgesehen. Diese ist mit einer Einrichtung 40 zur Berechnung des Kühlmitteldurchflusses durch den in Figur 1 dargestellten Abgaskühler 32 verbunden. Die Einrichtung 40 zur Berechnung des Kühlmitteldurchflusses steht wiederum über eine Regelstrecke 42 mit einem Regler 44 in Verbindung. Weiterhin sind in Figur 2 Signale dargestellt, wobei Signale, die die Endung AV aufweisen, aktuelle Werte kennzeichnen, während Signale, die die Endung SP aufweisen, Sollwerte kennzeichnen.

Die Ansauggastemperaturregelung gemäß Figur 4 arbeitet wie folgt. Entsprechend den Motorbetriebsbedingungen wird ein Sollwert für die Temperatur der Ansaugluft im Saugrohr (TIA_IM_SP) vorgegeben. Dieser wird zusammen mit der aktuellen Frischgastemperatur (TIA_AV) und den Massen des zugeführten Frischgases (MAF_KGH_AV) sowie des zurückgeführten Abga-

ses (M_{EGR_AV}) der Einrichtung 38 zur Berechnung der Abgassolltemperatur zugeführt. Diese berechnet unter Berücksichtigung der spezifischen Wärmekapazitäten der zugeführten Frischluft ($c_{p, Luft}$) und des Abgases ($c_{p, Abgas}$) die Abgastemperatur am Mischpunkt ($T_{EGR_DOWN_SP}$), die erforderlich ist, um die gewünschte Gastemperatur im Saugrohr zu erhalten. In der Einrichtung 40 zur Berechnung des Kühlmitteldurchflusses wird der von der Einrichtung 38 zur Berechnung der Abgassolltemperatur ermittelte Sollwert ($T_{EGR_DOWN_SP}$) mit der tatsächlichen Abgastemperatur am Motoraustritt ($T_{EGR_UP_AV}$) vor dem Abgaskühler verglichen. Aus der Differenz wird ein Kühlmitteldurchfluss (M_{COOL}) durch den Abgaskühler bestimmt, der erforderlich ist, um die gewünschte Abgastemperatur am Mischpunkt ($T_{EGR_DOWN_SP}$) zu erhalten. Dieser Kühlmittelfluss wird dann durch eine entsprechende Ansteuerung einer elektrischen Kühlmittelpumpe realisiert, wobei ebenso gut andere Arten der Durchflussregelung möglich sind. Der Kühlmitteldurchfluss wird entsprechend der vorliegenden Regelung über die Regelstrecke 42 in eine bestimmte Gastemperatur im Saugrohr (TIA_IM_AV) umgesetzt, wobei diese nach einer gewissen Einschwingphase vorliegen wird. Diese Gastemperatur im Saugrohr (TIA_IM_AV) wird mit dem Sollwert (TIA_IM_SP) im Regler 44 verglichen. Weichen die Werte voneinander ab, so wird der Kühlmitteldurchfluss durch den Abgaskühler um einen Wert (ΔM_{COOL}) korrigiert, so dass sich letztlich über eine geeignete Abgastemperatur am Mischpunkt ($T_{EGR_DOWN_AV}$) die gewünschte Ansauglufttemperatur gemäß dem Sollwert (TIA_IM_SP) einstellt.

Um die im Zusammenhang mit Figur 4 erläuterte Regelung mit dem in Figur 2 dargestellten System besser in Beziehung setzen zu können, wird nachfolgend im Einzelnen angegeben, wo die für die Regelung verwendeten Werte gemessen beziehungsweise eingestellt werden sollen. Die Luftmassenmeseinrichtung 28 ermittelt den Wert MAF_KGH_AV . Der zurückgeführte Abgasanteil M_{EGR_AV} ist im Rahmen der Abgasrückführung durch entsprechende Ansteuerung des Abgasrückführventils 36 be-

kannt. Die Frischgastemperatur TIA_AV wird durch den Temperatursensor 20 hinter der Drosselklappe 18 gemessen. Die Ansauggastemperatur TIA_IM_AV wird durch den Temperatursensor 22 vor dem Eintritt in den Brennraum 12 des Verbrennungsmotors 10 erfasst. Der Temperatursensor 24 am Austritt aus dem Brennraum 12 des Verbrennungsmotors 10 erfasst die Abgastemperatur T_EGR_UP_AV. Zusätzlich kann die Temperatur TIA_EGR_DOWN_AV am Mischpunkt durch den Temperatursensor 26 erfasst werden, wobei dieser allerdings für die im Zusammenhang mit Figur 4 beschriebene Regelung nicht unbedingt erforderlich ist.

Die Erfindung lässt sich wie folgt zusammenfassen: Bei einem HCCI-fähigen Verbrennungsmotor, der vorzugsweise mit einer Abgasrückführeinrichtung 14 ausgestattet ist, werden ein System und ein Verfahren vorgeschlagen, auf deren Grundlage eine verbesserte Einstellung des Temperaturniveaus im Brennraum erfolgen kann. Neben der Temperatureinstellung über die Abgasrückführeinrichtung 14 erfolgt eine davon unabhängige Beeinflussung der Temperatur aufgrund der Verdichtung der angesaugten Frischluft durch den Abgasturbolader 16, wobei auch nach Expansion der verdichteten Luft an einer Drosselklappe 18 eine Temperaturerhöhung erhalten bleibt, die letztlich gezielt zur Beeinflussung des Energieinhalts im Brennraum 12 genutzt werden kann.

Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung wesentlich sein.

Patentansprüche

1. System zum Beeinflussen der Ansauggastemperatur und damit des Energieniveaus im Brennraum (12) eines Verbrennungsmotors (10), insbesondere eines HCCI-fähigen Verbrennungsmotors (10), mit

- einer Verdichtungseinrichtung (16) zum Verdichten von angesaugter Frischluft, die vor der Verdichtung eine Temperatur T_1 aufweist, sowie
- Expansionsmitteln (18), die eine Expansion der verdichteten angesaugten Frischluft bewirken,
- wobei die verdichtete und nachfolgend expandierte Frischluft eine Temperatur $T_2 > T_1$ aufweist,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Temperaturerhöhung der Frischluft von T_1 auf T_2 zur Beeinflussung des Temperaturniveaus und damit des Energieniveaus im Brennraum (12) gezielt eingesetzt wird.

2. System nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass eine Abgasrückführeinrichtung zum Zuführen von Abgas eines früheren Verbrennungszyklus zu Frischluft beziehungsweise zu einem Frischluft aufweisenden Gemisch vorgesehen ist, um nach Einspritzung von Kraftstoff ein Luft/Kraftstoff/Abgas-Gemisch mit einem für die Verbrennung vorteilhaften Energieniveau bereitzustellen.

3. System nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Verdichtungseinrichtung ein Abgasturbolader (16) ist.

4. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Verdichtungseinrichtung ein Kompressor ist.

5 5. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Expansion an einer Drosselklappe (18) erfolgt.

10 6. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass ein Temperatursensor (20) zum Erfassen der Temperatur T_2
in Strömungsrichtung des Frischgases stromab den Expansions-
mitteln angeordnet ist, so dass diese im Rahmen einer Rege-
lung der Ansauggastemperatur berücksichtigt werden kann.

15 7. System nach einem der Ansprüche 2 bis 6,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

- dass mindestens ein als Abgaskühler (32) wirkender Wärme-
tauscher zur Absenkung der Temperatur des zurückgeführten
20 Abgases vorgesehen ist, und

- dass eine Kühlmittelstellventil (50) vorgesehen ist, so
dass durch Beeinflussung des Kühlmitteldurchflusses durch
den Abgaskühler (32) unter Berücksichtigung von Messwer-
25 ten beziehungsweise modelltechnisch ermittelten Werten
die Ansauggastemperatur eingestellt beziehungsweise gere-
gelt werden kann.

30 8. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Abgaskühler (32) in einem separaten Wärmetauscher-
kreis (46) angeordnet ist.

35 9. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Abgaskühler in einem Motorkühlmittelkreis angeordnet
ist.

10. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Abgaskühler als Motor- beziehungsweise Getriebeöl-
5 wärmetauscher ausgelegt ist.

11. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Messwerte beziehungsweise die modelltechnisch ermit-
10 telten Werte mindestens einer der folgenden Größen zugeordnet
sind:

- Abgastemperatur,
- zurückgeführte Abgasmasse beziehungsweise -menge,
- 15 - Frischgastemperatur,
- Frischgasmasse beziehungsweise -menge,
- Ansauggastemperatur,
- Ansauggasmasse beziehungsweise -menge,
- Kühlmitteltemperatur beziehungsweise Öltemperatur des
20 durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungs-
weise Öls und
- Kühlmittelmasse beziehungsweise Ölmasse beziehungsweise
Kühlmittelmenge beziehungsweise Ölmenge des durch den Ab-
gaskühler strömenden Kühlmittels beziehungsweise Öls.

12. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass ein Temperatursensor (20) zum Erfassen der Frischgastem-
peratur, ein Temperatursensor (24) zum Erfassen der Abgastem-
30 peratur am Motoraustritt, eine Luftmassen- beziehungsweise -
mengenmesseinrichtung (28) zum Erfassen der Frischgasmasse
beziehungsweise -menge und eine Abgasmassen- beziehungsweise
-mengenmesseinrichtung (28) zum Erfassen der Abgasmasse be-
ziehungsweise -menge vorgesehen sind.

13. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

dass die Ansauggastemperatur gemäß der Gleichung

$$T_{ASG} = \dot{m}_{FG} C_{p,FG} + \dot{m}_{AG} C_{p,AG}$$

5 berechnet wird, wobei

\dot{m}_{FG} : Frischgasmassenstrom

\dot{m}_{AG} : Abgasmassenstrom

T_{FG} : Frischgastemperatur

10 T_{AG} : Abgastemperatur

T_{ASG} : Ansauggastemperatur

$C_{p,FG}$: Wärmekapazität des Frischgases

$C_{p,AG}$: Wärmekapazität des Abgases.

15 14. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Abgastemperatur am Wärmetauscherausgang unter Verwen-
dung des folgenden Gleichungssystems berechnet wird:

20
$$|\Delta \dot{Q}_{KM}| = |\Delta \dot{Q}_{AG}| = \dot{Q}_{WT}$$

$$\Delta \dot{Q}_{KM} = \dot{m}_{KM} C_{p,KM} (T_{KM,AUS} - T_{KM,EIN})$$

$$\Delta \dot{Q}_{AG} = \dot{m}_{AG} C_{p,AG} (T_{AG,EIN} - T_{AG,AUS})$$

25

$$\dot{Q}_{WT} = kA\Delta T_m$$

wobei

30 \dot{Q} : Wärmestrom

KM : Kühlmittel

AG : Abgas

WT : Wärmetauscher

C_p : Wärmekapazität

35 k : Wärmedurchgangskoeffizient des Wärmetauschers

A : Heizfläche des Wärmetauschers

ΔT_m : mittlere logarithmische Temperaturdifferenz.

15. Verfahren zum Beeinflussen der Ansauggastemperatur und damit des Energieniveaus im Brennraum (12) eines Verbrennungsmotors (10), insbesondere eines HCCI-fähigen Verbrennungsmotors (10), bei dem

- angesaugte Frischluft, die vor der Verdichtung eine Temperatur T_1 aufweist, verdichtet wird und
- die verdichtete angesaugte Frischluft expandiert wird,
- wobei die verdichtete und nachfolgend expandierte Frischluft eine Temperatur $T_2 > T_1$ aufweist,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Temperaturerhöhung der Frischluft von T_1 auf T_2 zur Beeinflussung des Temperaturniveaus und damit des Energieniveaus im Brennraum (12) gezielt eingesetzt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass Abgas eines früheren Verbrennungszyklus Frischluft beziehungsweise einem Frischluft aufweisenden Gemisch zugeführt wird, um nach Einspritzung von Kraftstoff ein Luft/Kraftstoff/Abgas-Gemisch mit einem für die Verbrennung vorteilhaften Energieniveau bereitzustellen.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Verdichtung durch einen Abgasturbolader (16) erfolgt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Verdichtung durch einen Kompressor erfolgt.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Expansion an einer Drosselklappe (18) erfolgt.

5 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 19,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Temperatur T_2 nach der Expansion erfasst wird, so
dass diese im Rahmen einer Regelung der Ansauggastemperatur
berücksichtigt werden kann.

10

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 20,
dadurch gekennzeichnet,

15 - dass Abgas in einem als Abgaskühler (32) wirkenden Wärme-
tauscher zur Absenkung der Temperatur des zurückgeführten
Abgases gekühlt wird, und

20 - dass durch Beeinflussung des Kühlmitteldurchflusses durch
den Abgaskühler (32) mittels eines Kühlmittelstellventils
(50) unter Berücksichtigung von Messwerten beziehungswei-
se modelltechnisch ermittelten Werten die Ansauggastempe-
ratur eingestellt beziehungsweise geregelt wird.

22. Verfahren nach Anspruch 21,
25 dadurch gekennzeichnet,
dass die Messwerte beziehungsweise die modelltechnisch ermit-
telten Werte mindestens einer der folgenden Größen zugeordnet
sind:

- 30 - Abgastemperatur,
- zurückgeführte Abgasmasse beziehungsweise -menge,
- Frischgastemperatur,
- Frischgasmasse beziehungsweise -menge,
- Ansauggastemperatur,
35 - Ansauggasmasse beziehungsweise -menge,

- Kühlmitteltemperatur beziehungsweise Öltemperatur des durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungsweise Öls und
- Kühlmittelmasse beziehungsweise Ölmasse beziehungsweise Kühlmittelmenge beziehungsweise Ölmenge des durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungsweise Öls.

23. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Frischgastemperatur, die Abgastemperatur am Motoraustritt, die Frischgasmasse beziehungsweise -menge und die Abgasmasse beziehungsweise -menge gemessen werden.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansauggastemperatur gemäß der Gleichung

$$T_{ASG} = \dot{m}_{FG} C_{p,FG} + \dot{m}_{AG} C_{p,AG}$$

berechnet wird, wobei

\dot{m}_{FG} : Frischgasmassenstrom
 \dot{m}_{AG} : Abgasmassenstrom
 T_{FG} : Frischgastemperatur
 T_{AG} : Abgastemperatur
 T_{ASG} : Ansauggastemperatur
 $C_{p,FG}$: Wärmekapazität des Frischgases
 $C_{p,AG}$: Wärmekapazität des Abgases.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgastemperatur am Wärmtauscherausgang unter Verwendung des folgenden Gleichungssystems berechnet wird:

$$|\Delta \dot{Q}_{KM}| = |\Delta \dot{Q}_{AG}| = \dot{Q}_{NT}$$

$$\Delta \dot{Q}_{KM} = \dot{m}_{KM} C_{p,KM} (T_{KM,AUS} - T_{KM,EIN})$$

$$\Delta \dot{Q}_{AG} = \dot{m}_{AG} c_{p,AG} (T_{AG,EIN} - T_{AG,AUS})$$

$$\dot{Q}_{WT} = k A \Delta T_m$$

5

wobei

- \dot{Q} : Wärmestrom
 KM : Kühlmittel
10 AG : Abgas
 WT : Wärmetauscher
 c_p : Wärmekapazität
 k : Wärmedurchgangskoeffizient des Wärmetauschers
 A : Heizfläche des Wärmetauschers
15 ΔT_m : mittlere logarithmische Temperaturdifferenz.

1/3

FIG 1

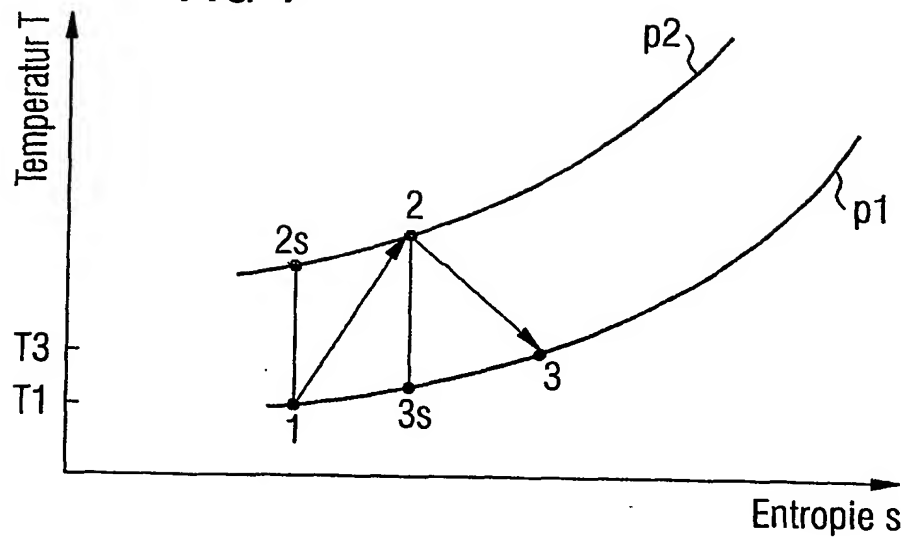
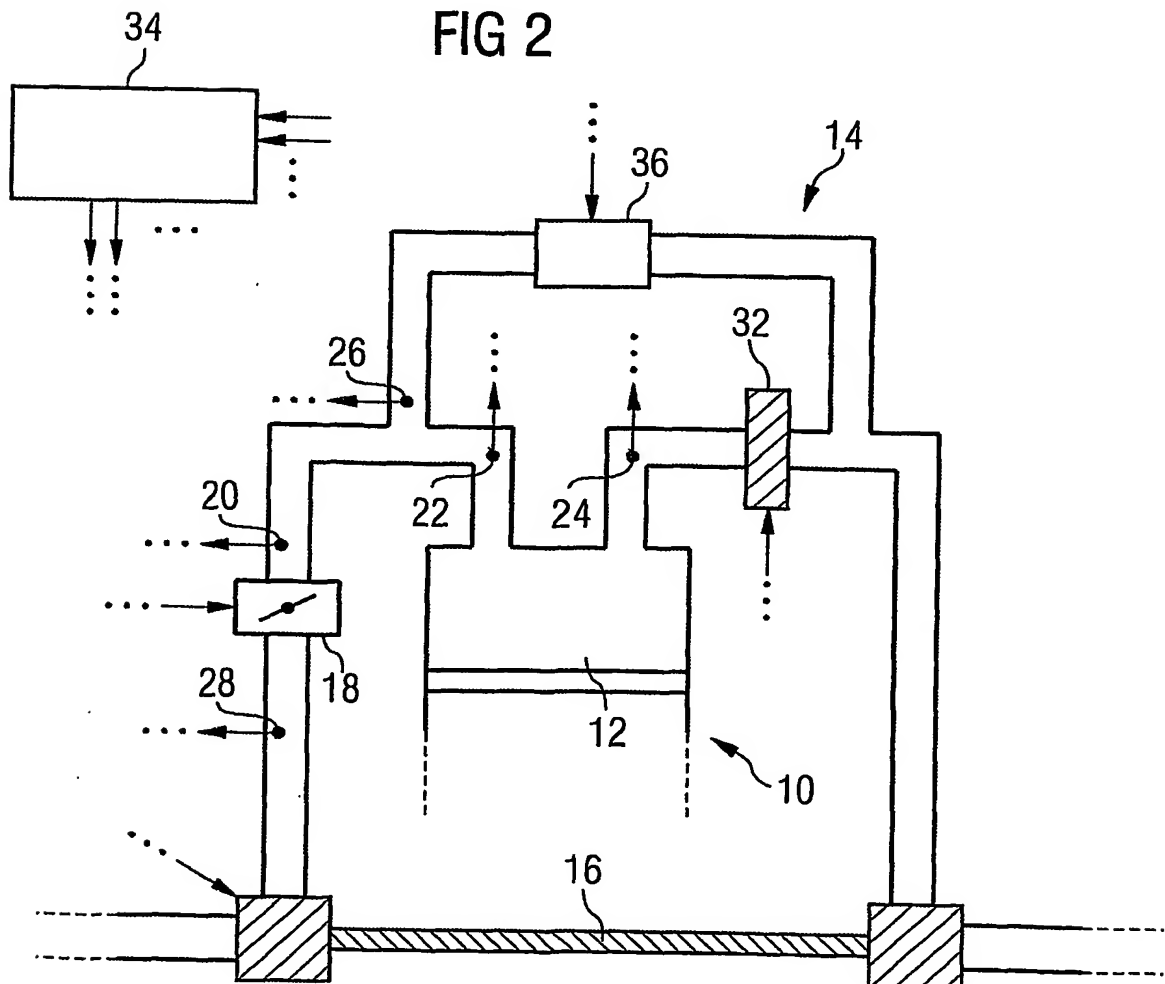
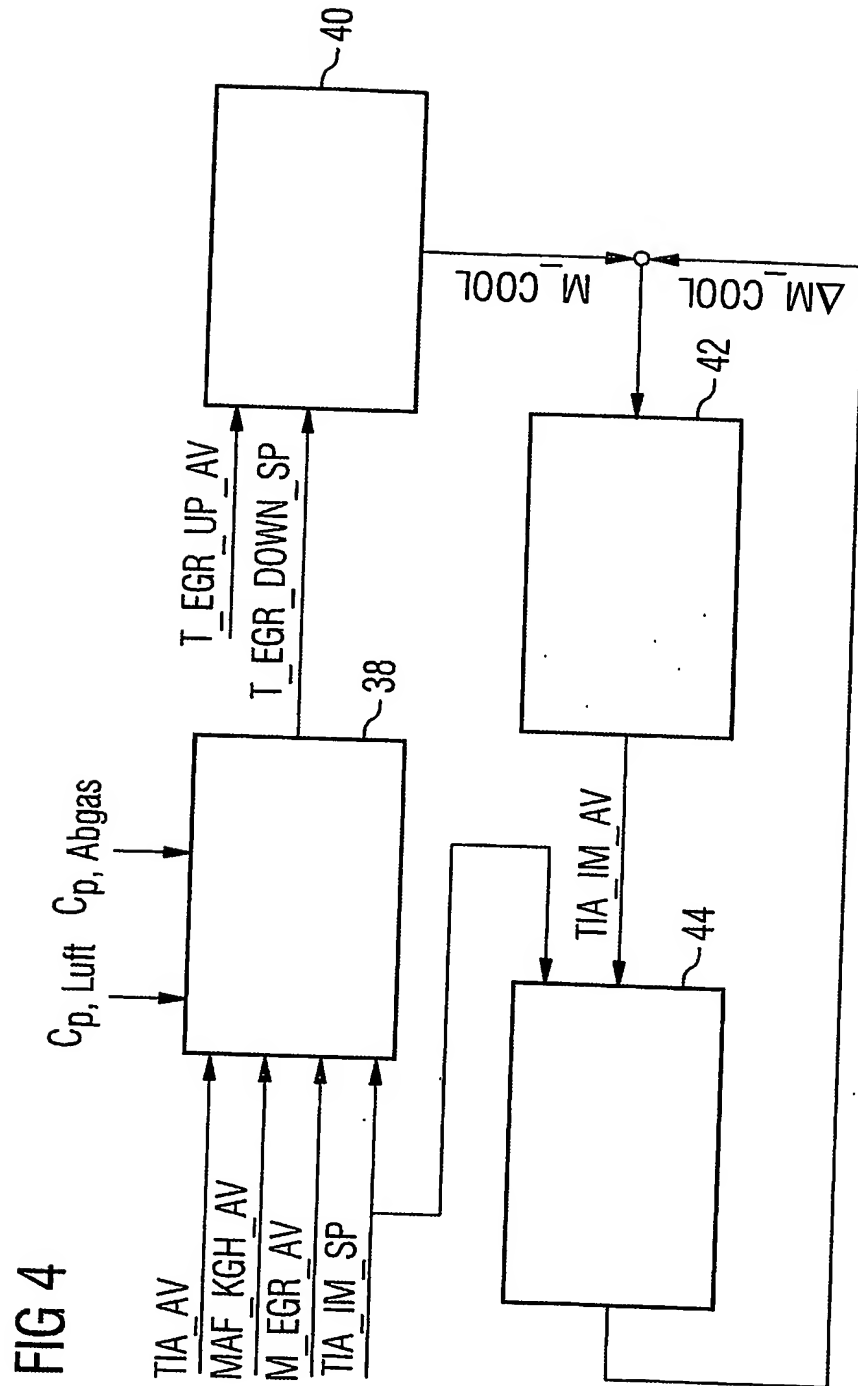


FIG 2





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/002670

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F02D41/00 F02B1/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 F02D F02B F02F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2 633 698 A (FREDERICK NETTEL) 7 April 1953 (1953-04-07) claim 1; figures 1-4 column 2, line 45 -column 3, line 73 column 5, line 29 -column 5, line 69 ---	1-5, 7-10, 15-19,21
X	US 4 078 387 A (DE BOISJEAN MICHEL DE LAMBERT ET AL) 14 March 1978 (1978-03-14) abstract; claim 1; figures 1,3 column 3, line 41 -column 4, line 43 column 7, line 39 -column 8, line 25 --- -/--	1-3,5,6, 11,13, 15-17, 19,20, 22,24

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 June 2004

Date of mailing of the international search report

06/07/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Van der Staay, F

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/002670

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 39 09 932 A (DAIMLER BENZ AG) 27 September 1990 (1990-09-27) abstract; claim 1; figure 1 column 1, line 68 -column 2, line 69 -----	1-3, 5, 11, 15-17, 19, 22
X	US 4 452 044 A (MATUSHIRO RYUICHI ET AL) 5 June 1984 (1984-06-05) abstract; claim 1; figure 1 column 1, line 24 -column 2, line 15 column 7, line 25 -column 7, line 53 -----	1, 3, 5, 11, 15, 17, 19, 22
A	AT 5 646 U (AVL LIST GMBH) 25 September 2002 (2002-09-25) the whole document -----	1-25
A	WO 99/42718 A (CUMMINS ENGINE CO INC) 26 August 1999 (1999-08-26) abstract page 30 -page 35 -----	1-25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/002670

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2633698	A	07-04-1953	NONE	
US 4078387	A	14-03-1978	FR 2308784 A1	19-11-1976
			AR 212965 A1	30-11-1978
			AU 515377 B2	02-04-1981
			AU 1322376 A	27-10-1977
			BE 841060 A1	25-10-1976
			CA 1049270 A1	27-02-1979
			CH 601656 A5	14-07-1978
			DE 2617709 A1	04-11-1976
			DE 2660433 C2	01-10-1987
			DK 182376 A ,B,	25-10-1976
			ES 447099 A1	16-06-1977
			GB 1528069 A	11-10-1978
			IN 147330 A1	02-02-1980
			IT 1060557 B	20-08-1982
			JP 1040766 C	23-04-1981
			JP 51130716 A	13-11-1976
			JP 55031300 B	16-08-1980
			NL 7604333 A ,B,	26-10-1976
			NO 761408 A ,B,	26-10-1976
			PL 115576 B1	30-04-1981
			SE 435645 B	08-10-1984
			SE 7604593 A	25-10-1976
DE 3909932	A	27-09-1990	DE 3909932 A1	27-09-1990
			FR 2644845 A1	28-09-1990
			GB 2229937 A	10-10-1990
			IT 1239437 B	02-11-1993
			JP 3067014 A	22-03-1991
US 4452044	A	05-06-1984	JP 57171029 A	21-10-1982
AT 5646	U	25-09-2002	AT 5646 U1	25-09-2002
			DE 10239065 A1	03-04-2003
			US 2003047148 A1	13-03-2003
WO 9942718	A	26-08-1999	BR 9904839 A	18-07-2000
			CN 1263583 T	16-08-2000
			EP 0983433 A1	08-03-2000
			JP 3421059 B2	30-06-2003
			JP 2000513788 T	17-10-2000
			JP 2001020784 A	23-01-2001
			WO 9942718 A1	26-08-1999
			US 6276334 B1	21-08-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/002670

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 F02D41/00 F02B1/12

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 F02D F02B F02F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2 633 698 A (FREDERICK NETTEL) 7. April 1953 (1953-04-07) Anspruch 1; Abbildungen 1-4 Spalte 2, Zeile 45 - Spalte 3, Zeile 73 Spalte 5, Zeile 29 - Spalte 5, Zeile 69 ---	1-5, 7-10, 15-19, 21
X	US 4 078 387 A (DE BOISJEAN MICHEL DE LAMBERT ET AL) 14. März 1978 (1978-03-14) Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildungen 1, 3 Spalte 3, Zeile 41 - Spalte 4, Zeile 43 Spalte 7, Zeile 39 - Spalte 8, Zeile 25 --- -/--	1-3, 5, 6, 11, 13, 15-17, 19, 20, 22, 24

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. Juni 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

06/07/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Van der Staay, F

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/002670

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 39 09 932 A (DAIMLER BENZ AG) 27. September 1990 (1990-09-27) Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildung 1 Spalte 1, Zeile 68 -Spalte 2, Zeile 69 ---	1-3,5, 11, 15-17, 19,22
X	US 4 452 044 A (MATUSHIRO RYUICHI ET AL) 5. Juni 1984 (1984-06-05) Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildung 1 Spalte 1, Zeile 24 -Spalte 2, Zeile 15 Spalte 7, Zeile 25 -Spalte 7, Zeile 53 ---	1,3,5, 11,15, 17,19,22
A	AT 5 646 U (AVL LIST GMBH) 25. September 2002 (2002-09-25) das ganze Dokument ---	1-25
A	WO 99/42718 A (CUMMINS ENGINE CO INC) 26. August 1999 (1999-08-26) Zusammenfassung Seite 30 -Seite 35 -----	1-25

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/002670

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2633698	A	07-04-1953	KEINE	
US 4078387	A	14-03-1978	FR 2308784 A1	19-11-1976
			AR 212965 A1	30-11-1978
			AU 515377 B2	02-04-1981
			AU 1322376 A	27-10-1977
			BE 841060 A1	25-10-1976
			CA 1049270 A1	27-02-1979
			CH 601656 A5	14-07-1978
			DE 2617709 A1	04-11-1976
			DE 2660433 C2	01-10-1987
			DK 182376 A ,B,	25-10-1976
			ES 447099 A1	16-06-1977
			GB 1528069 A	11-10-1978
			IN 147330 A1	02-02-1980
			IT 1060557 B	20-08-1982
			JP 1040766 C	23-04-1981
			JP 51130716 A	13-11-1976
			JP 55031300 B	16-08-1980
			NL 7604333 A ,B,	26-10-1976
			NO 761408 A ,B,	26-10-1976
			PL 115576 B1	30-04-1981
			SE 435645 B	08-10-1984
			SE 7604593 A	25-10-1976
DE 3909932	A	27-09-1990	DE 3909932 A1	27-09-1990
			FR 2644845 A1	28-09-1990
			GB 2229937 A	10-10-1990
			IT 1239437 B	02-11-1993
			JP 3067014 A	22-03-1991
US 4452044	A	05-06-1984	JP 57171029 A	21-10-1982
AT 5646	U	25-09-2002	AT 5646 U1	25-09-2002
			DE 10239065 A1	03-04-2003
			US 2003047148 A1	13-03-2003
WO 9942718	A	26-08-1999	BR 9904839 A	18-07-2000
			CN 1263583 T	16-08-2000
			EP 0983433 A1	08-03-2000
			JP 3421059 B2	30-06-2003
			JP 2000513788 T	17-10-2000
			JP 2001020784 A	23-01-2001
			WO 9942718 A1	26-08-1999
			US 6276334 B1	21-08-2001